

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
8. Februar 2001 (08.02.2001)

PCT

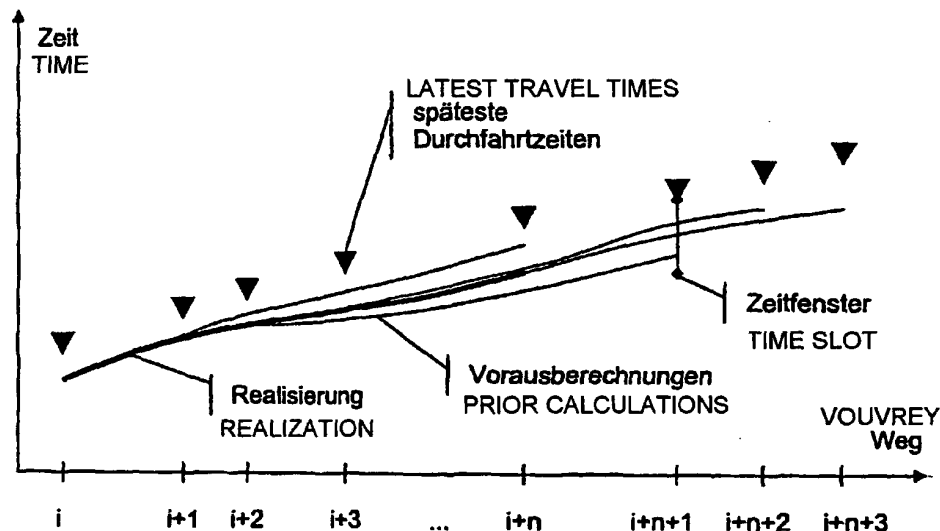
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 01/08956 A1**

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **B61L 3/00** (72) Erfinder; und  
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **FRANKE, Rüdiger**  
(21) Internationales Aktenzeichen: **PCT/EP00/07148** [DE/DE]; Fritz-Frey-Strasse 2, D-69121 Heidelberg  
(DE). **TERWIESCH, Peter** [CH/CH]; Gartenweg 459,  
(22) Internationales Anmeldedatum: **26. Juli 2000 (26.07.2000)** CH-5512 Wohlenschwil (CH). **MEYER, Markus**,  
[CH/CH]; Höchweidstrasse 7, CH-6030 Ebikon (CH).  
**KETTELER, Karl-Hermann** [CH/CH]; Schwächeler-  
(25) Einreichungssprache: **Deutsch** strasse 29, CH-5314 Kleindöltingen (CH).  
(26) Veröffentlichungssprache: **Deutsch** (74) Anwälte: **RUPPRECHT, Klaus** usw.; Luderschmidt,  
Schüler & Partner, John-F.-Kennedy-Strasse 4, D-65189  
(30) Angaben zur Priorität: **199 35 352.2** **29. Juli 1999 (29.07.1999)** **DE** Wiesbaden (DE).  
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von (81) Bestimmungsstaaten (national): **AE, AG, AL, AM, AT,**  
**US**): **DAIMLERCHRYSLER AG** [DE/DE]; Epplestrasse **AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CR, CU,**  
**225, D-70546 Stuttgart (DE).** **CZ, DE, DK, DM, DZ, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,**  
**HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK,**

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR OPTIMIZING ENERGY IN THE MANNER IN WHICH A VEHICLE OR TRAIN IS DRIVEN USING  
A SLIDING OPTIMIZATION HORIZON

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR ENERGIEOPTIMIERUNG DER FAHRWEISE BEI EINEM FAHRZEUG/ZUG UNTER  
VERWENDUNG EINES GLEITENDEN OPTIMIERUNGSHORIZONTES



(57) Abstract: Disclosed is a method which enables energy to be optimized in a motor vehicle or a train, using spare time slots in a timetable. According to the inventive method, the overall route between a point of departure when stopped and a stopping point upon arrival is subdivided into several sections, whereby each section is provided with a time slot. A single part of said route which is limited in distance and consists of a given number of sections is considered for optimization purposes in order to obtain an energy-saving method of travel, using an optimizing algorithm. The results of said optimization are only determined for the first section of part of the route. The optimization calculation is repeated in a cyclic manner during the travel of the vehicle/train. The part of the route which is thus considered changes as the vehicle moves.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 01/08956 A1



LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW.

**Veröffentlicht:**

- Mit internationalem Recherchenbericht.
- Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen.

(84) **Bestimmungsstaaten (regional):** ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), curassisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes, und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) **Zusammenfassung:** Es wird ein Verfahren zur Energieoptimierung bei einem Fahrzeug/Zug bei der Benutzung von Zeitreserven vorgeschlagen, welche bei einem Fahrplan eingeplant sind, wobei eine zwischen einem Start-Haltepunkt und einem Ziel-Haltepunkt zu durchzufahrende Gesamtstrecke in mehrere Abschnitte unterteilt und jedem Abschnitt eine gewisse Zeitreserve zuerkannt wird. Zur Erzielung einer energiesparenden Fahrweise unter Zuhilfenahme eines Optimierungsalgorithmus wird für die Optimierung jeweils nur ein aus einer vorgegebenen Anzahl von Abschnitten bestehender begrenzter Streckenbereich betrachtet. Die Ergebnisse der Optimierung werden nur für den ersten Abschnitt des Streckenbereichs realisiert. Die Optimierungs-Berechnung wird während der Fahrt des Fahrzeuges/Zuges zyklisch wiederholt, wobei der betrachtete Streckenbereich zusammen mit dem Fahrzeug bewegt wird.

## Verfahren zur Energieoptimierung der Fahrweise bei einem Fahrzeug/Zug unter Verwendung eines gleitenden Optimierungshorizontes

### Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Energieoptimierung der Fahrweise bei einem Fahrzeug/Zug mit in mehrere Abschnitte unterteilter Gesamtstrecke gemäß dem Oberbegriff des einzigen Patentanspruchs.

Bei der Erstellung von Fahrplänen für den Schienenverkehr werden Zeitreserven für unvorhergesehene Ereignisse und widrige Betriebsbedingungen eingeplant. Da während realer Fahrten die Betriebsbedingungen typischerweise günstiger sind als in der Planung angenommen, werden die dabei entstehenden Zeitreserven für andere Zwecke verfügbar. Eine besonders sinnvolle Benutzung der Zeitreserven besteht in der Einsparung von Energie mittels geeigneter Fahrweise des Fahrzeuges/Zuges.

Aus der DE 30 26 652 A1, der DD 255 132 A1 und der EP 0 467 377 B1 sind in diesem Zusammenhang Verfahren bekannt, wie man ein Fahrzeug energieoptimal zwischen zwei Haltepunkten bewegt. Bei langen Strecken wird eine Unterteilung in mehrere Abschnitte vorgeschlagen, wobei in jedem Abschnitt eine optimale Teillösung ermittelt wird und die Gesamtlösung sich aus der Zusammensetzung der Teillösungen ergibt. Die vorgeschlagenen Verfahren zur Energieoptimierung betrachten jeweils die Gesamtstrecke zwischen zwei Haltepunkten. Es erfolgt jedoch keine Verwaltung von Zeitreserven.

Die Unsicherheit im Betriebsablauf, wegen der Zeitreserven im Fahrplan vorgesehen werden, ist im Start-Haltepunkt (Startbahnhof) am höchsten und nimmt mit zunehmender Annäherung an den Ziel-Haltepunkt (Zielbahnhof) ständig ab. Die Berücksichtigung der Abnahme der Unsicherheit erfolgt traditionell in Streckenfahrplänen in Form von Durchfahrtszeiten für ausgewählte Streckenpunkte. Dabei wird die Zeitreserve gleichmäßig auf die Gesamtstrecke verteilt.

Die DE 30 26 652 A1 und die EP 0 467 377 B1 beschäftigen sich mit einer Systemstruktur, in der Verfahren zur Energieminimierung realisiert werden können, wobei eine Gesamtstrecke zwischen zwei Haltepunkten (Haltebahnhöfen) berücksichtigt wird. Dies kann bei langen Strecken dazu führen, daß Echtzeitvorgaben für die Lösung durch das Verfahren in nachteiliger Weise nicht eingehalten werden.

Die bisher bekannten Verfahren zur Energieoptimierung berücksichtigen nur unzureichend die Forderung nach Robustheit des Betriebsablaufs, die mit Zeitreserven im Fahrplan erhöht werden soll. Sie eignen sich nur unzureichend für den Einsatz unter Echtzeitbedingungen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein verbessertes Verfahren zur Energieoptimierung der Fahrweise bei einem Fahrzeug/Zug mit in mehrere Abschnitte unterteilter Gesamtstrecke anzugeben.

Diese Aufgabe wird in Verbindung mit den Merkmalen des Oberbegriffes durch die im Kennzeichen des einzigen Anspruchs angegebenen Merkmale gelöst.

Die mit der Erfindung erzielbaren Vorteile bestehen insbesondere darin, daß die Optimierungs-Berechnung mittels eines Optimierungsalgorithmus jeweils nur für einen begrenzten Streckenbereich erfolgt. Dadurch wird der nötige Berechnungsaufwand begrenzt, was auch bei langen Gesamtstrecken eine Anwendung der Optimierung unter Echtzeitbedingungen erlaubt. Die Robustheit des Betriebsablaufs wird erhöht. Gleichzeitig ist die realisierte Fahrweise energieoptimal. Mit „Robustheit“ ist gemeint, daß auch bei langen Gesamtstrecken und unvorhergesehenen Ereignissen ein rechtzeitiges Eintreffen des Fahrzeuges/Zuges am Ziel-Haltepunkt gewährleistet ist.

Weitere Vorteile des vorgeschlagenen Verfahrens ergeben sich aus der nachstehenden Beschreibung.

Die Erfindung wird nachstehend anhand des in der einzigen Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert.

Die Figur zeigt das Weg/Zeit-Diagramm eines Fahrzeuges, wobei die gesamte Fahrstrecke in mehrere einzelne Abschnitte eingeteilt ist und  $i$  den Laufindex für die einzelnen Abschnitte darstellt. Mit  $n$  ist die zweckmäßige Anzahl der Abschnitte für eine Vorausberechnung bezeichnet. Die jeweils spätesten Durchfahrtszeiten sind mit Dreiecken gekennzeichnet. Ferner ist beispielhaft ein Zeitfenster angegeben. Durch das Zeitfenster wird bestimmt, zu welcher frühesten und spätesten Durchfahrtszeit ein bestimmter Abschnitt vom Fahrzeug zu passieren ist.

Erfindungsgemäß wird bei wiederholter Durchführung der Optimierungsrechnung während der Fahrt für jeweils aktuelle Bedingungen in jeder Wiederholung nur ein begrenzter Streckenabschnitt und nicht die Gesamtstrecke betrachtet.

Für lange Strecken im Fernverkehr ist es unnütz, eine optimale Fahrweise im voraus bis zum nächsten Ziel-Haltepunkt zu berechnen, denn eine kurzfristige unvorhergesehene Änderung im Betriebsablauf, deren Auftretenswahrscheinlichkeit mit zunehmender Streckenlänge wächst, würde bereits eine Neuberechnung erfordern. Deshalb wird erfindungsgemäß vorgesehen, bei einer Berechnung jeweils nur einen begrenzten Streckenbereich zu betrachten. Vorgaben für die Endzeit, zu der dieser Streckenbereich passiert sein muß, können aus der Einbeziehung der Zeitreserven abgeleitet werden. Die Berechnung wird während der Fahrt zyklisch wiederholt, wobei der betrachtete Streckenbereich zusammen mit dem Fahrzeug bewegt wird.

Die einzige Figur veranschaulicht das prinzipielle Verfahrensschema. Während das Fahrzeug sich im Abschnitt  $i$  befindet, wird eine vorher ermittelte optimale Steuerung verwendet, wobei zur Ermittlung dieser optimalen Steuerung der Bereich von  $i$  bis  $i+n$  betrachtet worden ist, das heißt  $n$  entspricht der Anzahl der Abschnitte für eine Vorausberechnung. Während das Fahrzeug sich im Abschnitt  $i$  befindet, erfolgt eine Neuberechnung für aktuelle Bedingungen, wobei jetzt der Bereich von  $i+1$  bis  $i+n+1$  betrachtet wird. Erreicht das Fahrzeug den Abschnitt  $i+1$ , so wird mit den Ergebnissen dieser Neuberechnung fortgefahren. Dieser Vorgang wird zyklisch wiederholt. Es

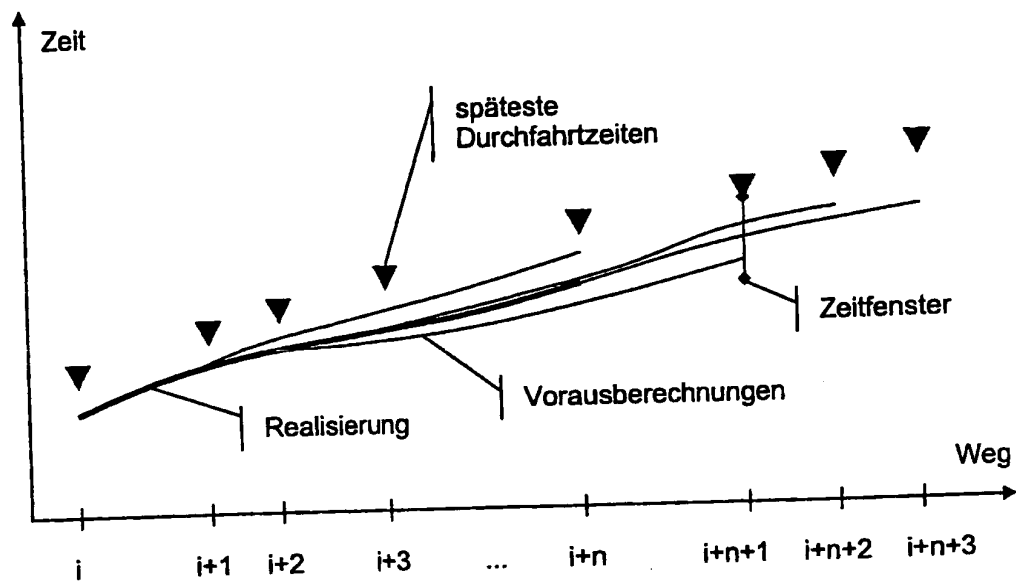
wird in jeder Vorausberechnung ein Bereich von  $n$  Abschnitten betrachtet, wobei jeweils nur die Ergebnisse für den ersten Abschnitt realisiert werden, da anschließend (für den nächsten Abschnitt) eine neue Vorausberechnung vorliegt. Erst wenn zwischen dem Fahrzeug und dem Ziel-Haltepunkt weniger als  $n$  Abschnitte liegen, erfolgt die Optimierung über die verbleibende Gesamtstrecke.

Für das vorgeschlagene Verfahren geeignete Optimierungsalgorithmen sind aus Papageorgiou: Optimierung, Kapitel 10, 19 und insbes. 20, Oldenbourg Verlag, 1996 bekannt.

Patentanspruch

Verfahren zur Energieoptimierung bei einem Fahrzeug/Zug bei der Benutzung von Zeitreserven, welche bei einem Fahrplan eingeplant sind, wobei eine zwischen einem Start-Haltepunkt und einem Ziel-Haltepunkt zu durchfahrende Gesamtstrecke in mehrere Abschnitte unterteilt und jedem Abschnitt eine gewisse Zeitreserve zuerkannt wird, dadurch gekennzeichnet, daß zur Erzielung einer energiesparenden Fahrweise unter Zuhilfenahme eines Optimierungsalgorithmus jeweils nur ein aus einer vorgegebenen Anzahl (n) von Abschnitten bestehender begrenzter Streckenbereich für die Optimierung betrachtet wird, daß die Ergebnisse der Optimierung nur für den ersten Abschnitt des Streckenbereichs realisiert werden und daß die Optimierungs-Berechnung während der Fahrt des Fahrzeuges/Zuges zyklisch wiederholt wird, wobei der betrachtete Streckenbereich zusammen mit dem Fahrzeug bewegt wird.

1 / 1





# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 00/07148

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 7 B61L3/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 B61L B60L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DD 208 324 A (HORN PETER;WINKLER AXEL; GROSSE SEBASTIAN) 2 May 1984 (1984-05-02) the whole document ---	1
A	DD 129 761 A (HORN PETER;WINKLER AXEL) 8 February 1978 (1978-02-08) the whole document ---	1
A	DD 262 836 A (VERKEHRSWESSEN FORSCH INST) 14 December 1988 (1988-12-14) the whole document ---	1
A	DD 266 539 A (ZENTRALES FI DES VERKEHRS WESE) 5 April 1989 (1989-04-05) the whole document ---	1
	--- -/--	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents :

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*A\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

12 December 2000

Date of mailing of the international search report

21/12/2000

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Reekmans, M

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Inten. Patent Application No

PCT/EP 00/07148

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>DD 236 705 A (VERKEHRSWESSEN FORSCH INST)</p> <p>18 June 1986 (1986-06-18)</p> <p>the whole document</p> <p>-----</p>	1

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 00/07148

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DD 208324	A	02-05-1984	NONE	
DD 129761	A	08-02-1978	NONE	
DD 262836	A	14-12-1988	NONE	
DD 266539	A	05-04-1989	NONE	
DD 236705	A	18-06-1986	NONE	

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

**Internationales Aktenzeichen**

PCT/EP 00/07148

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 7 B61L3/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RESEARCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7      B61L    B60L

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

### C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DD 208 324 A (HORN PETER; WINKLER AXEL; GROSSE SEBASTIAN) 2. Mai 1984 (1984-05-02) das ganze Dokument ---	1
A	DD 129 761 A (HORN PETER; WINKLER AXEL) 8. Februar 1978 (1978-02-08) das ganze Dokument ---	1
A	DD 262 836 A (VERKEHRSWESEN FORSCH INST) 14. Dezember 1988 (1988-12-14) das ganze Dokument ---	1
A	DD 266 539 A (ZENTRALES FI DES VERKEHRS WESE) 5. April 1989 (1989-04-05) das ganze Dokument ---	1
	--- -/--	

**X**

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

X

**Siehe Anhang Patentfamilie**

° Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

**\*A\*** Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie auszuführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

**\*Y\*** Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\* & Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

**Datum des Abschlusses der Internationalen Recherche**

12. Dezember 2000

**Absendedatum des internationalen Recherchenberichts**

21/12/2000

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Reekmans, M

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 00/07148

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DD 236 705 A (VERKEHRSWESEN FORSCH INST) 18. Juni 1986 (1986-06-18) das ganze Dokument	1

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 00/07148

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DD 208324	A	02-05-1984	KEINE	
DD 129761	A	08-02-1978	KEINE	
DD 262836	A	14-12-1988	KEINE	
DD 266539	A	05-04-1989	KEINE	
DD 236705	A	18-06-1986	KEINE	